ARID LAND GEOGRAPHY

京藏高速柴达木腹地路面温度变化特征及与气温要素影响分析

保广裕， 杨春华， 周 丹， 马守存， 刘 玮， 燕振宁

（青海省气象服务中心，青海 西宁 810001）

摘 要：利用 2018 年 3 月 1 日—2020 年 2 月 29 日京藏高速柴达木腹地路段新建的伊克高里、宗加镇 和大格勒 3 个交通自动观测站逐日气象资料，分析了四季路面温度和气温逐小时变化特征，统计了 路面最高、最低温度和最高、最低气温之间的相关关系，建立了 3 站四季路面最高温度和最低温度 分别与最高气温和最低气温相关性方程，旨在为路面温度精细化预报

务提供参考。结果表明： 京藏高速柴达木腹地路段伊克高里、宗加镇和大格勒 3 站路面温度和气温

同季节具有明显的日 变化特征，路面温度和气温达到最低值和最高值的时间并

是完全相同。3 站路面温度 09:00 后上 升速度均比气温上升速度快，路面温度升温位相较气温均超前，10:00—18:00 期间各站路面温度与 气温差别均较大。伊克高里站平均路面温度始终低于宗加镇和大格勒站路面平均温度。3 站平均 气温变化趋势比较一致，冬季和秋季平均气温昼夜差异明显。应用统计学方法建立的伊克高里、 宗加镇和大格勒最高和最低路面温度与最高和最低气温相关性方程具有很好的实际应用价值，可 在实际业务工作中推广应用。

关 键 词：京藏高速；柴达木腹地；路面温度；相关性方程

文章编号：

公路交通运输作为国民经济和社会发展的重 要基础，在

实保障人民基本生产生活、有力支撑 社会经济发展等方面意义重大[1]。随着运输量的增 加和极端天气事件的频繁出现，公路运输的安全运 营风险日益严重[2]，公路运行安全和高效管理需求 对气象条件的敏感性和依赖性日趋增大[3-7]。

近年来，国内许多学者利用公路交通沿线出现 的交通事故资料和气象资料，采用各类科学方法建 立了公路交通气象预警

务模型，对灾害性天气对 公路交通的影响等方面做了大量的科学研究[8-14]。 例如 Shao 等[15]应用能量守恒方法研究了实时路面 温度和路面状况预报模型。吴晟等[16]利用京珠高速公路自动气象站逐分钟路面温度、气温等气象资 料，分析了南岭山地高速公路路面温度特征及其与 天气状况和风速等气象条件的关系，总结了地形对

南岭山地高速公路路面温度的影响。 京藏高速
青海段是丝绸之路经济带的必经之
路，青海境内主要途径享堂大桥省界—民和—乐都 — 平 安 — 西 宁 — 湟 源 — 共 和 — 黄 河 村 — 大 水 桥—茶卡—都兰—香日德—诺木洪—格尔木市—格 尔木南出口收费站—管养分界[17]。 京藏高速青海 段沿线地形
杂多样，自然条件较差，气象灾害较多，夏季路面高温诱发的爆胎交通事故，冬季低温 雨雪诱发的道路结冰，气象灾害及次生灾害导致的 交通事故损失巨大[18-20]。京藏高速柴达木腹地重要 路段气象灾害及次生灾害导致的交通事故频发，但 该路段却属于观测空白区，针对交通路段的气象监 测站点明显
足，气象
务保障能力严重滞后，缺乏 对京藏高速公路沿线路面温度和气温等气象资料预 报模型进行研究。本文利用 2018 年 3 月 1 日—2020

收稿日期：2020-11-16； 修订日期：2021-03-23 基金项目：青海省基础研究计划项目（2021-ZJ-762）
作者简介：保广裕（1967-），男，正高级工程师，主要从事专业气象预报和服务研究. E-mail: 985022892@qq.com
通讯作者：杨春华（1970-），女，工程师，主要从事气象预报和服务研究. E-mail: 493710861@qq.com

年 2 月 29 日京藏高速柴达木腹地路段新建的伊克 高里、宗加镇、大格勒交通自动监测站逐日资料，分
析了伊克高里、宗加镇和大格勒路面温度和气温的 日变化特征以及路面温度与气温之间的关系，建立 了逐季节路面最高温度和路面最低温度与气温要 素的影响关系，旨在为路面温度精细化预报
务提 供参考，为交通运输安全和畅通提供保障。

1　材料与方法

京藏高速柴达木腹地公路沿线的伊克高里、宗加镇和大格勒交通自动气象观测站在 2017 年 12 月 建设完成。各交通自动气象观测站探测环境均为 无主要障碍物，周围较开阔，无大型建筑物和大型 水体，场地四周为戈壁沙漠，符合探测环境要求。 其中，宗加镇和大格勒站站址地势均高于路面，观 测数据质量较好，而伊克高里站站址地势显著低于 路面 0.3 m 左右，观测数据

受地温和日照影响。3 个气象观测站点详细信息如表 1。

表 1　交通气象站基本信息

Tab. 1　Basic information of traffic meteorological stations

站点	经纬度	站址	海拔高度/m
伊克高里	36°03′06″N、97°31′41″E	京藏高速 K2330+0 m	2952
宗加镇	36°18′02″N、96°45′26″E	京藏高速 K2405+400 m	2832
大格勒	36°19′41″N、95°20′35″E	京藏高速 K2535+486 m	2870

本文选取 2018 年 3 月 1 日—2020 年 2 月 29 日 3 个交通自动气象观测站气象资料，包括逐小时气 温、逐日最高气温、逐日最低气温，均为距地面 1.5 m 处的观测气温，逐小时路面温度、逐日路面最高温 度、逐日路面最低温度，均为红外线测温仪监测的 路面 0 cm 温度。季节划分为 3—5 月为春季，6—8 月为夏季，9—11 月为秋季，12 月—次年 2 月为冬 季。各季节的日资料为 3 个月逐日资料的平均值。 文章分析研究了柴达木腹地戈壁路段气温和 路面温度变化特征，并用统计学线性趋势相关方 法，分析了路面最高温度、路面最低温度与最高气 温、最低气温的相关关系，分别建立了 3 站路面最高 温度、路面最低温度与最高气温、最低气温之间的一元线性回归模型[21-23]。

2　结果与分析

2.1　路面温度与气温的变化特征分析

2.1.1

同季节路面温度与气温日变化特征 由伊 克高里、宗加镇和大格勒 3 站春、夏、秋、冬四季逐小 时气温和路面温度日变化曲线（图 1~3）可见，春、夏 季伊克高里气温达到最低值的时间是 07:00，路面温 度达到最低值的时间分别是 07:00 和 06:00，气温最

图 1　伊克高里不同季节逐小时气温和路面温度日变化曲线

Fig. 1　Daily change curvs of hourly air temperaturs and road surface temperatures in different seasons at Ekgoli

图 2　宗加镇不同季节逐小时气温和路面温度日变化曲线

Fig. 2　Daily change curves of hourly air temperatures and road surface temperatures in different seasons at Zongjia Town

图 3　大格勒不同季节逐小时气温和路面温度日变化曲线

Fig. 3　Daily change curves of hourly air temperatures and road surface temperaturs in different seasons at Big Gle

低值比路面温度最低值高 2.4~3.8 ℃；白天路面温度的变化曲线高于气温的变化曲线，夜间路面温度的 变化曲线比气温的变化曲线低，气温最高值出现在 17:00，路面温度最高值出现在 14:00—15:00，路面温 度 最 高 值 比 气 温 最 高 值 高 达 26.0~32.5 ℃（图 1a~b）。春、夏季宗加镇和大格勒的气温与路面温 度最低值均出现在 07:00，宗加镇和大格勒气温最低值比路面温度最低值分别低 3.0~3.5 ℃和 –1.6~ 2.5 ℃；宗加镇和大格勒气温最高值均出现在 17:00—18:00，宗加镇和大格勒路面温度最高值出现在 15:00—16:00，宗加镇和大格勒路面温度最高值比气温最高值分别高 17.6~19.5 ℃和 19.1~16.7 ℃（图 2a~b、图 3a~b）。春、夏季伊克高里、宗加镇和大格 勒路面温度分别在 1.2~55.2 ℃、7.0~44.4 ℃和 5.7~

40.8 ℃之间，气温分别在 5.0~22.7 ℃、4.0~24.9 ℃和
4.1~24.1 ℃之间。

秋季 3 站最低气温均出现在 08:00。伊克高里 路面温度最低值出现在 07:00，宗加镇和大格勒路面 温度最低值出现在 08:00（图 1c、图 2c、图 3c）。伊克 高里、宗加镇和大格勒路面温度最低值与气温最低 值相差分别为 4.0 ℃、3.8 ℃和 2.8 ℃。伊克高里白天 路面温度变化曲线比气温变化曲线高，晚上路面温 度变化曲线低于气温变化曲线，16:00 气温达到最高 值，14:00 路面温度达到最高值，气温最高值比路面 温度最高值低 28.8 ℃。宗加镇和大格勒气温最高值 分别出现在 16:00 和 17:00，路面温度出现在 15:00，气 温 最 高 值 比 路 面 温 度 最 高 值 低 17.4 ℃和 14.7 ℃。秋季伊克高里路面温度≥0.0 ℃的出现时 间在 09:00，≤0.0 ℃的出现时间在 23:00，路面温度 ≥0.0 ℃ 的 维 持 时 间 为 15 h，气 温 在 0.0~10.3 ℃ 之 间；宗加镇路面温度在 3.5~29.0 ℃之间变化，气温 09:00 为-0.3 ℃，其余时间在 0.4~11.6 ℃之间；大格 勒路面温度在 1.2~25.4 ℃之间，气温≤0.0 ℃出现的 时间在 05:00，≥0.0 ℃出现在 09:00，气温≤0.0 ℃的维 持时间为 4 h。

伊克高里、宗加镇和大格勒冬季气温均在 09:00 达到最低，伊克高里路面温度在 08:00 达到最低，宗 加镇和大格勒路面温度在 09:00 最低（图 1d、图 2d、 图 3d）。伊克高里、宗加镇和大格勒的路面温度最 低值比气温最低值分别高 6.2 ℃、2.8 ℃和 1.7 ℃。3 站气温在 17:00 均达到最高值，而伊克高里路面温 度在 14:00 出现最高值，宗加镇和大格勒路面温度 在 15:00 出现最高值。伊克高里、宗加镇和大格勒 冬季气温最高值比路面温度最高值分别低 5.0 ℃、10.5 ℃、9.1 ℃。冬 季 伊 克 高 里 路 面 温 度 14:00 为
1.2 ℃，其它时间路面温度在-3.3~20.1 ℃之间，气温 在-13.9~-3.8 ℃之间；大格勒和宗加镇站路面温度
≥0.0 ℃出 现 在 12:00 和 13:00，≤0.0 ℃出 现 在 18:00 和 19:00，2 站路面温度≥0.0 ℃的维持时间为 6 h，气 温的变化范围分别在-14.9~-3.1 ℃和-13.8~-2.7 ℃之间。

总之，伊克高里全年夜间路面温度均低于气 温，冬季仅 12:00—14:00 路面温度高于气温，其余季 节 09:00—18:00 路面温度均高于气温，这可能与站 点所在的地理环境有关，还可能与红外地表温度的 架设高度和角度有关；春、夏、秋、冬四季，宗加镇和

大格勒站的路面温度均比气温高，各站 09:00 后路 面温度升温均较快，路面温度升温的变化趋势超前 于气温的变化趋势，这是因为气温的热源主要来源 地球下垫面的长波辐射，而地温的热源主要来源是 太阳的短波辐射，因此，路面温度的升高比气温的 升高更加优先。17:00 后路面温度的下降速度比气 温的下降快，这是因为在夜间路面温度的长波辐射 降温起主要的作用，受长波辐射降温的影响下，气 温下降比路面温度下降缓慢。同时在 10:00—18:00 路面温度与气温间的差异也较大，伊克高里冬季 11:00—17:00 相差值为 1.3~6.3 ℃、春季 16.0~26.0 ℃、 夏 季 22.0~34.0 ℃、秋 季 12.0~30.0 ℃；宗 加 镇 冬 季 相 差 值 为 4.3~11.3 ℃、春 季 11.0~18.0 ℃、夏 季 9.2~21.0 ℃、秋季 9.5~18.0 ℃；大格勒冬季相差值为 4.9~10.5 ℃、春季 9.2~19.0 ℃、夏季 10.0~17.0 ℃、秋 季 9.5~16.0 ℃。而 09:00 前和 20:00 后路面温度与气 温相差明显较小，相差值约 1.0~4.0 ℃左右。秦健 等[24]研究沥青路面温度场的分布规律时发现，造成 公路沥青路面温度变化的主要原因是气温和太阳 辐射强度。

2.1.2

同站点各季节路面温度特征 由伊克高 里、宗加镇和大格勒 3 站同季节平均路面温度日 变化曲线（图 4）可见，3 站中平均路面温度均有较大 差异，宗加镇和大格勒的平均路面温度变化趋势基 本一致，伊克高里平均路面温度起伏波动较大。冬 季伊克高里平均路面温度低于宗加镇和大格勒，其 余季节 09:00 后伊克高里路面温度上升较宗加镇和 大格勒快，路面温度达到最高后下降幅度也较宗加 镇和大格勒快，18:00 后宗加镇和大格勒路面温度高 于伊克高里。春季 10:00—16:00 伊克高里路面温度 高于宗加镇，宗加镇路面温度高于大格勒，春、秋、 冬季伊克高里 14:00 路面温度达到最高，宗加镇和 大格勒 15:00—16:00 路面温度达到最高。夏季伊 克高里 15:00 路面温度达到最高，宗加镇和大格勒 16:00 路面温度达到最高。春、夏、秋、冬四季，夜间 宗加镇路面温度高于大格勒，大格勒路面温度高于 伊克高里。宗加镇和大格勒两站路面温度在 09:00 后的 4~5 h 内最为接近。冬季宗加镇路面最高温度 高于大格勒 1.8 ℃，大格勒高于伊克高里 4.8 ℃；春 季伊克高里比宗加镇高 5.6 ℃，宗加镇比大格勒低 0.3 ℃；夏季伊克高里高于宗加镇 10.8 ℃，宗加镇高 于大格勒 3.6 ℃；秋季伊克高里高于宗加镇 10.1 ℃，

图 4 不同季节平均路面温度日变化曲线

Fig. 4 Diurnal change curves of average road surface temperatures in different seasons

宗加镇高于大格勒 3.6 ℃。伊克高里、宗加镇和大 格勒 3 站路面温度变化差异，可能是交通自动监测 站点的海拔高度、气象条件、地形和周边环境共同 作用的结果。

2.1.3

同站点各季节气温特征分析 由伊克高 里、宗加镇和大格勒 3 站

同季节平均气温日变化 曲线（图 5）可见，冬季和秋季平均气温昼夜差异较 大（图 5）。春季 11:00—次日 03:00 左右宗加镇气温

波动高于大格勒，大格勒气温波动高于伊克高里，05:00—07:00 伊克高里气温波动高于大格勒，大格勒气温波动高于宗加镇，08:00—10:00 3 站平均气温变化趋势基本一致（图 5a）。夏季伊克高里、宗加镇 和大格勒平均气温相差

大，12:00—23:00 宗加镇 平均气温略高于大格勒，大格勒略高于伊克高里， 03:00—12:00 3 站平均气温非常接近（图 5b）。秋季

12:00—23:00 宗加镇平均气温略高于大格勒和伊克

图 5 不同季节平均气温日变化曲线

Fig. 5 Diurnal change curves of average air temperatures in different seasons

高里，00:00—07:00 宗加镇平均气温高于伊克高里，伊克高里高于大格勒，08:00—12:00 伊克高里平均气温略高于宗加镇和大格勒（图 5c）。冬季 14:00—23:00 宗加镇平均气温高于大格勒，大格勒高于伊克 高里，00:00—07:00 宗加镇平均气温高于伊克高里，伊克高里高于大格勒，08:00—14:00 各站平均气温 相差很小（图 5d）。总之，伊克高里、宗加镇和大格 勒 3 站各季节平均气温变化趋势比较一致。

2.2 路面温度与气温相关性分析

2.2.1 路面最低温度与最低气温相关关系 利用 2018 年 3 月 1 日—2020 年 2 月 29 日 3 站逐日最低气 温和路面最低温度资料，研究了 3 站春、夏、秋、冬四季路面最低温度与最低气温的相关关系。图 6 是伊克高里站路面最低温度与最低气温相关关系图，图中关系式中 y 表示路面最低温度，x 表示观测点最低 气温。从图中可以看出伊克高里站路面最低温度与最低气温有着较好线性相关关系，伊克高里四季相关系数分别为 0.96、0.88、0.91、0.95，四季路面最 低温度与气温的相关性方程如表 2 所示。同理建立 了宗加镇和大格勒站各季节路面最低温度与最低 气温相关关系（图略），宗加镇四季相关系数分别为 0.96、0.94、0.98、0.97，大格勒四季相关系数分别为 0.95、0.95、0.98、0.98。各方程均通过 0.01 的显著性 检验。

图 6 伊克高里不同季节路面最低温度与最低气温相关关系

Fig. 6 Correlations between the minimum road surface temperaturs and the minimum air temperaturs in different seasons at Ekgoli

表 2 路面最低温度与最低气温相关性方程

Tab. 2 Correlation equations between the minimum road surface temperaturs and the minimum air temperaturs

季节	伊克高里	宗加镇	大格勒
春季	y=1.0501x-3.5554	y=0.9326x+3.8377	y=0.9101x+2.5646
夏季	y=0.9952x-2.3341	y=0.9791x+3.9964	y=0.9430x+3.1820
秋季	y=1.0821x-3.7275	y=0.9636x+3.8121	y=0.3270x+2.5142
冬季	y=1.1815x-2.5804	y=0.7433x+0.1189	y=0.7158x-1.6000

冬季低温雨雪诱发的道路结冰极易引发交通事故的发生，柴达木腹地更是如此，因此应更加注 重冬季路面低温预报的改进。通过相关性统计分 析发现，伊克高里、宗加镇和大格勒 3 站路面最低温度与最低气温间的相关性均十分显著，冬季平均相 关 性 系 数 在 0.95~0.98 之 间 ，远 高 于 夏 季 的 0.88~ 0.95，因此均具有较好的推广性和实用性，均可进行 业务化使用（表 2）。

2.2.2 路面最高温度与最高气温相关关系 利用 2018 年 3 月 1 日—2020 年 2 月 29 日 3 站逐日最高气温和路面最高温度资料，统计春、夏、秋、冬四季路面最高温度与最高气温的相关关系。图 7 是大格勒站路面最高温度与最高气温相关关系图，图中关系式中 y 表示路面最高温度，x 表示观测点最高气温。 从图中可以看出伊克高里站绝大多数散点都均匀 且集中地分布在趋势线附近。同理可以建立宗加

图 7 大格勒不同季节路面最高温度与最高气温相关关系图

Fig. 7 Correlations between the maximum road surface temperatures and the maximum air temperatures in different seasons at Big Gle

镇和伊克高里站春、夏、秋、冬四季路面最高温度与 最高气温的相关关系（图略），经计算，伊克高里四 季 路 面 最 高 温 度 与 最 高 气 温 的 相 关 系 数 分 别 为 0.70、0.70、0.82、0.63，宗加镇分别为 0.73、0.92、0.90、0.81，大格勒分别为 0.70、0.78、0.91、0.76，各站路面 最高温度与最高气温相关系数均较高。因此，采用 最高气温建立路面最高温度一元线性回归方程（表 3）。各方程均通过了 0.01 的显著性检验。

夏季高温天气所造成的路面高温会诱发爆胎交通事故，柴达木腹地处于沙漠戈壁地区，因此应 更加注重夏季路面高温预报的改进。通过相关性 统计分析发现，宗加镇夏季路面最高温度和最高气 温的相关性系数达到 0.92，相关性十分显著。而伊 克高里和大格勒的相关性系数仅为 0.70 和 0.78，相 关性较差。因此可选择宗加镇夏季路面最高温度 相关性方程进行推广使用（表 3）。

表 3 路面最高温度与最高气温相关性方程

Tab. 3 Correlation equations between the maximum road surface temperatures and the maximum air temperatures

季节	伊克高里	宗加镇	大格勒
春季	y=1.8680x+25.8450	y=1.4873x+14.3300	y=1.7173x+11.7070
夏季	y=3.4290x-15.3530	y=2.0079x-6.7131	y=1.8499x-3.0091
秋季	y=2.1448x+14.8540	y=1.3389x+11.4530	y=1.3948x+9.5998
冬季	y=2.0065x+14.3400	y=1.1980x+11.0000	y=1.0894x+9.6260

3 结 论

本文通过分析京藏高速柴达木腹地路段伊克高里、宗加镇和大格勒 3 个交通自动观测站

同季 节路面温度变化及气温变化特征的基础上，利用统 计方法建立了路面最低温度和路面最高温度相关 性方程，得到以下结论:

（1）路面温度和气温在

同的季节均具有明显 日变化特征，路面温度和气温达到最低值和最高值 时间并非完全相同。伊克高里冬季 12:00—14:00 路 面温度变化比气温变化高，其余时间路面温度变化 比气温变化低。

（2）春、夏、秋、冬四季，宗加镇和大格勒站的路 面温度变化均比气温变化高，各站的路面温度 09:00 后上升速度均比气温上升速度快，路面温度升温位 相 较 气 温 均 超 前。17:00 后 路 面 温 度 下 降 比 气 温 快。整个冬季伊克高里平均路面温度始终比宗加 镇和大格勒站的路面平均路面温度低。

（3）伊克高里、宗加镇和大格勒 3 站平均气温

变化趋势较一致，但冬季和秋季平均气温昼夜差异

非常明显。采用统计方法建立的 3 站各季节路面最低温度与最低气温和路面最高温度和最高气温相关性方程具有较好的使用价值，均通过了 0.01 的显

著性检验，可在实际业务工作中推广应用。 京藏 高速柴达木腹地自然环境条件较差，气温 变化剧烈，风沙天气多，年降水量 足 50.0 mm，是 全国气候和生态环境脆弱区之 一。该地区气象站 点布设和维护成本较高，导致 公路沿线气象站点布 设密度相对较小，能较好地反应整个线路的具体 情况，未来应着力提高气象站点布设密度，完善模 型研究结论。站点观测内容也相对有限，如果可以 实现对路面能量平衡进行观测，使用陆面过程进行 模拟研究效果将更好，研究成果推广使用前景将更 加广泛。

参考文献（References）

[1] 裴少阳, 周丹, 保广裕, 等. 青海省公路沿线能见度时空变化特征及其影响因素[J]. 干旱气象, 2017, 35(6): 1004- 1010. [Pei Shaoyang, Zhou Dan, Bao Guangyu, et al. Spatial and temporal variation characteristics of highway visibility in Qinghai Province and its influencing factors[J]. Journal of Arid Meteorology, 2017, 35(6): 1004-1010.]

[2] 康延臻, 王式功, 杨旭, 等. 高速公路交通气象监测预报 务研究进展[J]. 干旱气象, 2016, 34(4): 591- 603. [Kang Yanzhen, Wang Shigong, Yang Xu, et al. Progress of traffic meteorological researches about monitoring and forecasting services on express highways[J]. Journal of Arid Meteorology, 2016, 34(4): 591-603.]

[3] 刘聪, 卞光辉, 黎键, 等. 交通气象灾害[M]. 北京: 气象出版社, 2009. [Liu Cong, Bian Guanghui, Li Jian, et al. Transportation meteorological disasters[M]. Beijing: China Meteorological Press, 2009.]

[4] 刘东, 马社强, 牛学军. 我国高速公路交通事故特点分析[J]. 中国人民公安大学学报(自然科学版), 2008, 14(4): 65-68. [Liu Dong, Ma Sheqiang, Niu Xuejun. Analysis on the characteristics of highway traffic accidents in China[J]. Journal of Chinese Peo- ple's Public Security University (Science and Technology), 2008, 14(4): 65-68.]

[5] 高玉祥, 董晓峰, 梁颖. 基于 GIS 的宁夏路网空间特征研究[J]. 干旱区地理, 2021, 44(1): 268-276. [Gao Yuxiang, Dong Xiaofeng, Liang Ying. Study on fractal properties of highway transportation networks in Qinghai Province based on GIS[J]. Arid Land Geography, 2021, 44(1): 268-276.]

[6] 罗慧, 李良序, 胡胜, 等. 公路交通事故与气象条件关系及其气象预警模型[J]. 应用气象学报, 2007, 15(3): 350-357. [Luo Hui, Li Liangxu, Hu Sheng, et al. The relationship between road traffic crashes and meteorological condition with construction of its road weather warning model[J]. Journal of Applied Meteorological Sci- ence, 2007, 15(3): 350-357.]

[7] 宁贵财, 康彩燕, 陈东辉, 等. 2005—2014 年我国 利天气条件下交通事故特征分析[J]. 干旱气象, 2016, 34(5): 753- 762. [Ning Guicai, Kang Caiyan, Chen Donghui, et al. Analysis of char- acteristics of traffic accidents under adverse weather condition in China during 2005—2014[J]. Journal of Arid Meteorology, 2016, 34(5): 753-762.]

[8] 王喆. 高速公路灾害性天气研究[J]. 交通 准化, 2007(1): 105- 108. [Wang Zhe. Research on hazardous weather of highway[J]. Communications Standardization, 2007(1): 105-108.]

[9] 潘娅英, 陈武. 引发公路交通事故的气象条件分析[J]. 气象科技, 2006, 34(6): 778-782. [Fan Yaying, Chen Wu. Analysis of me- teorological conditions for traffic accidents[J]. Meteorology Sci- ence and Technology, 2006, 34(6): 778-782.]

[10] 马筛艳, 马金仁, 孙卫武, 等. 银川市路面温度预报与爆胎 数预报方法研究[J]. 干旱气象, 2013, 31(4): 825- 830. [Ma Shai- yan, Ma Jinren, Sun Weiwu, et al. Study of forecasting method for urban road temperature and the index of car tire's explosion[J]. Jour- nal of Arid Meteorology, 2013, 31(4): 825-830.]

[11] 贺芳芳, 房国良, 吴建平. 上海地区不良天气条件与交通事故之 关系研究[J]. 应用气象学报, 2004, 15(1): 126-129. [He Fang- fang, Fang Guoliang, Wu Jianping. Study on the relationship be- tween adverse weather conditions and traffic accidents in Shanghai [J]. Journal of Applied Meteorological Science, 2004, 15(1): 126- 129.]

[12] 陈晓光, 李俊超, 李长林, 等. 风吹雪对公路交通的危害及其对 策研讨[J]. 公路, 2001, 46(6): 113-118. [Chen Xiaoguang, Li Junchao, Li Changlin, et al. Study on the hazards of wind-blown snow to highway traffic and its countermeasures[J]. Hignway, 2001, 46(6): 113- 118.]

[13] 杨晓敏, 李玲琴, 付建新, 等. 30 a 青海省公路可达性及县域经 济联系格局演化[J]. 干旱区地理, 2018, 41(6): 1376- 1387. [Yang Xiaomin, Li Lingqin, Fu Jianxin, et al. Pattern variation of accessibility and economic linkage at county scale in Qinghai Province from 1986 to 2016[J]. Arid Land Geography, 2018, 41 (6): 1376-1387.]

[14] 田华, 吴昊, 赵琳娜, 等. 沪宁高速公路路面温度变化特征及统 计模型[J]. 应用气象学报, 2009, 20(6): 737-744. [Tian Hua, Wu Hao, Zhao Linna. Characteristics and statistical model of road sur- face temperature on Huning Expressway[J]. Journal of Applied Me- teorological Science, 2009, 20(6): 737-744.]

[15] Shao J, Lister P J. An automated nowcasting model of road surface tempature and state for winter road maintenance[J]. Journal of Ap- plied Meteorology, 1996, 135: 1352-1361.

[16] 吴晟, 吴兑, 邓雪 , 等. 南岭山地高速公路路面温度变化特征 分析[J]. 气象科技, 2006, 34(6): 783-787. [Wu Cheng, Wu Dui, Deng Xuejiao, et al. Characteristics of road surface temperature on freeway over Nanling hilly region[J]. Meteorology Science and Technology, 2006, 34(6): 783-787.]

[17] 周存秀. 京藏高速公路诺木洪至格尔木段路域生态环境现状研 究[J]. 青海环境, 2011, 21(2): 86-90. [Zhou Cunxiu. Study on the status quo of ecological environment in the section from Nomhon to Golmud of Beijing-Tibet Expressway[J]. Journal of Qinghai En-

vironment, 2011, 21(2): 86-90.]

[18] 马磊, 刘健, 胡智轩, 等. 公路风吹雪防治工程设计量级计算初 探[J]. 干旱区地理, 2019, 42(5): 998-1002. [Ma Lei, Liu Jian, Hu Zhixuan, et al. Calculation of magnitude of snowdrift on highway in its prevention engineering design[J]. Arid Land Geography, 2019, 42(5): 998-1002.]

[19] 葛根巴图, 魏巍, 张晓, 等. 柴达木盆地极端气候时空趋势及周 期特征[J]. 干旱区研究, 2020, 37(2): 304-313. [Gegen Batu, Wei Wei, Zhang Xiao, et al. Spatiotemporal trends and periodic fea- tures of climate extremes over the Qaidam Basin, China, during 1960—2014[J]. Arid Zone Research, 2020, 37(2): 304-313.]

[20] 陈永顺, 姚家骏, 陈玉华. 柴达木盆地气象和地灾害分析[J]. 高原地 , 2014, 26(2): 43- 48. [Chen Yongshun, Yao Jiajun, Chen Yuhua. Analysis on meteorolical and earthquake disasters in the Chai Damu Basin[J]. Plateau Earthquake Research, 2014, 26 (2): 43-48.]

[21] 曲晓黎, 武辉芹, 张彦恒, 等. 京石高速路面温度特征及预报模型 [J]. 干旱气象, 2010, 28(3): 352-357. [Qu Xiaoli, Wu Huiqin, Zhang Yanheng, et al. Characteristics of road suface temperature on Jingshi Freeway and the establishment of its forecast model[J]. Journal of Arid Meteorology, 2010, 28(3): 352-357.]

[22] 闫昕旸, 王小勇, 达选芳, 等. 甘肃高速公路山区段路面温度特 征及其预报模型[J]. 干旱气象, 2018, 36(5): 864-872. [Yan Xin- yang, Wang Xiaoyong, Da Xuanfang, et al. Variation characteris- tics of expressway pavement temperature and forecast model in mountainous area of Gansu[J]. Journal of Arid Meteorology, 2018, 36(5): 864-872.]

[23] 张曦, 浩宇, 梁佳, 等. 陕西省高速公路路面温度特征及预报模型[J]. 干旱气象, 2019, 37(6): 1028-1034. [Zhang Xi, Hao Yu, Liang Jia, et al. Characteristics of road surface temperature of Shaanxi expressway and its prediction model[J]. Journal of Arid Meteorology, 2019, 37(6): 1028-1034.]

[24] 秦健, 孙立军. 沥青路面温度场的分布规律[J]. 公路交通科技, 2006, 23(8): 18-21. [Qin Jian, Sun Lijun. Distribution law of tem- perature field of asphalt pavement[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2006, 23(8): 18-21.]

Variation characteristics of road surface temperature and its influence on air temperature factors of Beijing-Tibet Expressway in the Qaidam Hinterland

BAO Guangyu, YANG Chunhua, ZHOU Dan, MA Shoucun, LIU Wei, YAN Zhenning

(The Meteorological Service Center of Qinghai, Xining 810001, Qinghai, China)

Abstract: Daily meteorological data from an automated traffic observatory on the Qaidam Hinterland section (built between March 1, 2018, and February 29, 2020) of the Beijing-Tibet Expressway was used to analyze the characteristics of road surface temperatures and hourly air temperature variations in the four seasons. Next, the correlation between the maximum and minimum road surface temperatures and the maximum and minimum air temperatures was calculated. Finally, we established correlation equations between the maximum and minimum road surface temperatures and the maximum and minimum air temperatures to provide a reference for detailed road surface temperature forecasting services. The results show that the road surface temperatures and air temperatures of the three stations in the Qaidam Hinterland section of the Beijing-Tibet Expressway have distinct seasonal daytime variation characteristics. Furthermore, road and air temperatures do not reach their minimum and maximum values simultaneously. The road surface temperatures at the three stations rose faster than the air temperatures after 09:00. The road surface temperature rise level reached before the air temperature rise level. During 10:00—18:00, there was a big difference between the road surface temperature and air temperature at all stations. The average road surface temperature at Ekgoli station was constantly lower than that at Zongjia Town and Big Gle station. The average air surface temperature variations at the three stations were consistent, and the daily difference in average air temperature between winter and autumn was noticeable. The correlation equations between the maximum and minimum road surface temperatures and the maximum and minimum air temperatures at Ekgoli, Zongjia, and Big Gle are realistic and can be put into practical use.

Key words: Beijing-Tibet Expressway; Qaidam Hinterland; road surface temperature; correlation equation